

МИНОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ФИЗИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

УТВЕРЖДАЮ:

Декан ФФ

_____ О.Н. Чайковская

«_____» _____ 2016 г.

Рабочая программа дисциплины

ОПТИКА ПОЛУПРОВОДНИКОВ

Направление подготовки

03.03.02 – Физика

Профиль подготовки

Фундаментальная физика

Квалификация выпускника

Бакалавр

Форма обучения

Очная

1. Код и наименование дисциплины

В.5.26 – Оптика полупроводников

2. Место дисциплины в структуре ООП бакалавриата

Относится к вариативной части блока Б1, модуль "Физика полупроводников".

3. Год и семестр обучения

Четвертый год; первый семестр

4. Входные требования для освоения дисциплины

Наличие у студента компетенций, сформированных при освоении дисциплин: квантовой механики, термодинамики и статистической физики, кристаллографии, физики полупроводников, теории твердого тела.

5. **Общая трудоемкость дисциплины** составляет 3 зачетные единицы, 108 часов, из которых 50 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем; 58 часов составляет самостоятельная работа обучающегося.

6. Формат обучения

Очный

7. Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы

Формируемые компетенции (код компетенции, уровень освоения)	Планируемые результаты обучения по дисциплине
ПК-1, I уровень	З (ПК-1)-I Знать современные проблемы физики, основные методы и методики научно-исследовательской работы. У (ПК-1)-I Уметь осмысливать информацию и делать обоснованные выводы из новой научной и учебной литературы для использования в научно-исследовательской работе В (ПК-1)-I Владеть навыками работы с научной и учебной литературой
ПК-2, I уровень	З (ПК-2)-I Знать методы разработки стратегий исследования в выбранной области физики, критерии эффективности, ограничения применимости У (ПК-2)-I Уметь анализировать альтернативные варианты стратегий и целей исследований в выбранной области физики, критерии их эффективности и ограничения применимости В (ПК-2)-I Владеть навыками исследований с помощью современной аппаратуры и информационных технологий

8. Содержание дисциплины и структура учебных видов деятельности

Таблица 8.1

№	Наименование разделов и тем	Всего (час.)	Контактная работа	Самостоятельная работа (час.)
1	Оптические константы твердого тела	16	8	8
2	Процессы поглощения в полупроводниках	38	18	20
3	Излучательная рекомбинация в полупроводниках	30	14	16
4	Безызлучательные переходы в полупроводниках	14	6	8
5	Фотоэлектрические явления	10	4	6
	Итого	108	50	58

Содержание разделов дисциплины

Таблица 8.2

№	Раздел дисциплины	Содержание раздела дисциплины
1	Оптические константы твердого тела	Распространение электромагнитных волн в полупроводниках. Соотношения Крамерса-Кронига. Оптические константы и взаимосвязь между ними. Экспериментальные методы определения оптических констант. Классический и квантовомеханический подходы в теории дисперсии оптических констант.
2	Процессы поглощения в полупроводниках	Виды поглощения. Собственное поглощение. Прямые и непрямые оптические переходы; форма края основного поглощения в прямозонных и непрямозонных полупроводниках. Влияние внешних факторов на положение края основного оптического поглощения. Экситонное поглощение. Ионизация мелких примесных центров. Взаимодействие света с ионизированными примесными центрами. Неселективное поглощение свободными носителями заряда. Решеточное поглощение; однофононный резонанс.
3	Излучательная рекомбинация в полупроводниках	Виды излучательных процессов. Конфигурационная диаграмма. Соотношение Ван Русбрека-Шокли. Межзонная рекомбинация. Зависимость времени жизни неравновесных носителей заряда от положения уровня Ферми, температуры и уровня возбуждения. Самопоглощение. Эффективность излучения. Экситонная рекомбинация. Примесное излучение. Донорно-акцепторные переходы. Спонтанное и вынужденное излучение.

4	Безызлучательные переходы в полупроводниках	Оже-рекомбинация. Поверхностная рекомбинация. Многофотонная эмиссия. Рекомбинация через простые локальные центры: кинетические уравнения. Стационарный случай с малой концентрацией ловушек. Зависимость времени жизни от положения уровня Ферми. Температурная зависимость времени жизни. Стационарный случай с любой концентрацией ловушек. Вычисление времени жизни неравновесных носителей заряда в случае нескольких типов ловушек.
5	Фотоэлектрические явления	Внутренний фотоэффект. Фотопроводимость. Релаксация фотопроводимости. Эффект Дембера. Внешний фотоэффект. Фотоэлектромагнитный эффект.

9. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине и методические указания для обучающихся по освоению дисциплины.

Учебно-методическое обеспечение к дисциплине для самостоятельной работы студента составляют:

- основная и дополнительная учебная литература (см. Ресурсное обеспечение);
- информационные ресурсы в сети Интернет (см. Ресурсное обеспечение);

Для эффективного освоения дисциплины студентам рекомендуется:

- после лекции просмотреть и обдумать текст конспекта (15 минут);
- накануне следующей лекции вспомнить материал предыдущей (15 минут);
- изучение теоретического материала по учебнику и конспекту (1 час в неделю);
- подготовка к практическому занятию (2 часа в неделю);
- работа с литературой в библиотеке (1 час в неделю).

10. Форма промежуточной аттестации и фонд оценочных средств, включающий:

- Перечень компетенций выпускников образовательной программы, в формировании которых участвует дисциплина, и их карты: см. ФОС к дисциплине.
- Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки результатов обучения, характеризующих этапы формирования компетенций: см. ФОС к дисциплине.
- Методические материалы, определяющие процедуры оценивания результатов обучения: см. ФОС к дисциплине.
- Промежуточная аттестация проводится в форме дифференцированного зачета.

11. Ресурсное обеспечение

- **Основная литература**
 1. Г.Г. Владимиров Физическая электроника. Эмиссия и взаимодействие частиц с твердым телом : учебное пособие/Г.Г. Владимиров; [отв. ред. А. Д. Пузовик] - Спб.: изд-во «Лань», 2013. – 367 с.
 2. К.В. Шалимова Физика полупроводников/К.В. Шалимова - 4-е изд., стер. Спб.: изд-во «Лань», 2016. – 390 с.
 3. Ансельм А.И. Введение в теорию полупроводников. – Спб.: изд-во «Лань»,

2016. – 618 с.305, [1] с.

4. Зверев В.А., Кривоустова Е.В. Точилина Т.В. Оптические материалы. Спб.: изд-во «Лань», 2015. – 400 с.

- **Дополнительная литература**

1. Киреев П.С. Физика полупроводников. – М.: Высшая школа, 1975. – 584 с.
2. Бонч-Бруевич В.Л., Калашников С.Г. Физика полупроводников. – М.: Наука, 1977. – 672 с.
3. Фистуль В.И. Введение в физику полупроводников. – М.: Высшая школа, 1984. – 352 с.
4. Смит Р. Полупроводники. – М.: Мир, 1982. – 558 с.
5. Войцеховский А.В., Петров А.С., Потахова Г.И. Оптика полупроводников. – Томск: Изд-во Томского ун-та, 1987. – 221 с.
6. Мосс Т., Баррел Г., Эллис Б. Полупроводниковая оптоэлектроника. - М.: Мир, 1976 – 432 с.

- **Ресурсы информационно-телекоммуникационной сети Интернет**

1. Электронный каталог НБ ТГУ (<http://chamo.lib.tsu.ru>)
2. Поисковая система Google Scholar (<https://scholar.google.ru/>)
3. Портал образовательных ресурсов по нанотехнологиям <https://nanohub.org/>

- **Информационные технологии, используемые при осуществлении образовательного процесса.**

Мультимедиа презентации с использованием пакетов MS Office и OpenOffice.

- **Описание материально-технической базы.**

Мультимедийное оборудование физического факультета ТГУ, компьютерный класс с доступом в интернет.

12. Язык преподавания: русский

13. Преподаватель: к.ф.-м.н. Новиков Вадим Александрович

Автор: Новиков Вадим Александрович

Рецензент: профессор Борисенко С.И.

Программа одобрена на заседании учебно-методической комиссии физического факультета
Томского государственного университета

30.06. 2016 года, протокол № 6 - 16

МИНОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ФИЗИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

УТВЕРЖДАЮ:

Декан ФФ

_____ О.Н. Чайковская

«_____» _____ 2016 г.

**Фонд оценочных средств
для изучения учебной дисциплины**

ОПТИКА ПОЛУПРОВОДНИКОВ

Направление подготовки
03.03.02 – Физика

Профиль подготовки
Фундаментальная физика

Квалификация выпускника
Бакалавр

Форма обучения
Очная

Томск — 2016

1. Перечень компетенций выпускников образовательной программы, в формировании которых участвует дисциплина

В результате освоения дисциплины «Оптика полупроводников» у обучающегося формируются следующие компетенции:

- ПК-1, I уровень:
Знать современные проблемы физики, основные методы и методики научно-исследовательской работы
Уметь осмысливать информацию и делать обоснованные выводы из новой научной и учебной литературы для использования в научно-исследовательской работе
Владеть навыками работы с научной и учебной литературой
- ПК-2, I уровень:
Знать методы разработки стратегий исследования в выбранной области физики, критерии эффективности, ограничения применимости
Уметь анализировать альтернативные варианты стратегий и целей исследований в выбранной области физики, критерии их эффективности и ограничения применимости
Владеть навыками исследований с помощью современной аппаратуры и информационных технологий

Карты компетенций

Шифр и название КОМПЕТЕНЦИИ:

ПК-1: способность использовать специализированные знания в области физики для освоения профильных физических дисциплин/

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА КОМПЕТЕНЦИИ

Тип КОМПЕТЕНЦИИ:

Общепрофессиональная компетенция выпускника программы бакалавриата по направлению подготовки 03.03.02 Физика.

Для того чтобы формирование данной компетенции было возможно, обучающийся, приступивший к освоению программы бакалавриата, должен:

- **ЗНАТЬ:** специфику научного знания, современные проблемы физики, приемы самообразования.
- **УМЕТЬ:** приобретать систематические знания в выбранной области физики, анализировать возникающие в процессе научного исследования проблемы с точки зрения современных научных парадигм, осмысливать и делать обоснованные выводы из новой научной и учебной литературы.
- **ВЛАДЕТЬ:** навыками научного анализа и методологией научного подхода в научно-исследовательской и практической деятельности.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ КОМПЕТЕНЦИИ (ПК-1) И КРИТЕРИИ ИХ ОЦЕНИВАНИЯ

Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенции)	Критерии оценивания результатов обучения				
	1	2	3	4	5
ЗНАТЬ: современные проблемы физики, основные методы и методики научно-исследовательской работы. Шифр: З (ПК-1) -1	Отсутствие знаний	Фрагментарные знания современных проблем физики, основных методов и методик научно-исследовательской работы	Неполные знания современных проблем физики, основных методов и методик научно-исследовательской работы	Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания современных проблемы физики, основных методов и методик научно-исследовательской работы	Сформированные и систематические знания современных проблем физики, основных методов и методик научно-исследовательской работы
УМЕТЬ: осмысливать информацию и делать обоснованные выводы из новой научной и учебной литературы для использования в научно-исследовательской работе Шифр: У (ПК-1) -1	Отсутствие умений	Фрагментарное следование основным принципам выбора методов ведения научно-исследовательской работы	В целом успешное, но не систематическое следование основным принципам выбора методов ведения научно-исследовательской работы	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение выбрать эффективные методы ведения научно-исследовательской работы	Успешное и систематическое следование принципам выбора эффективных методов ведения научно-исследовательской работы

<p>ВЛАДЕТЬ: навыками работы с научной и учебной литературой</p> <p>Шифр: В (ПК-1) -1</p>	<p>Не владеет</p>	<p>Фрагментарное владение понятийным аппаратом, не владеет навыками научного анализа при работе с научной и учебной литературой</p>	<p>В целом успешное, но не систематическое применение навыков научного анализа при работе с научной и учебной литературой, нуждается в помощи преподавателя или научного руководителя</p>	<p>Владеет навыками приобретения умений и знаний при работе с научной и учебной литературой</p>	<p>Свободно владеет понятийным аппаратом и навыками анализа научной и учебной литературой</p>
--	-------------------	---	---	---	---

Шифр и название КОМПЕТЕНЦИИ:

ПК-2: способность проводить научные исследования в избранной области экспериментальных и (или) теоретических физических исследований с помощью современной приборной базы (в том числе сложного физического оборудования) и информационных технологий с учетом отечественного и зарубежного опыта/

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА КОМПЕТЕНЦИИ

Тип КОМПЕТЕНЦИИ:

Профессиональная компетенция выпускника программы бакалавриата по направлению подготовки 03.03.02 Физика.

Для того чтобы формирование данной компетенции было возможно, обучающийся, приступивший к освоению программы бакалавриата, должен:

- **ЗНАТЬ:** основные стратегии исследований в выбранной области физики.
- **УМЕТЬ:** выделять и систематизировать основные цели исследований в выбранной области физики.
- **ВЛАДЕТЬ:** методами разработки стратегий исследований в выбранной области физики навыками исследований с помощью современной аппаратуры и информационных технологий.

ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ФОРМИРОВАНИЯ КОМПЕТЕНЦИИ (ПК-2) И КРИТЕРИИ ИХ ОЦЕНИВАНИЯ

Планируемые результаты обучения (показатели достижения заданного уровня освоения компетенций)	Критерии оценивания результатов обучения				
	1	2	3	4	5
<p>ЗНАТЬ: методы разработки стратегий исследования в выбранной области физики, критерии эффективности, ограничения применимости</p> <p>Шифр: 3 (ПК-2) -1</p>	Отсутствие знаний	Фрагментарные знания методов разработки стратегий исследования в выбранной области физики, критериев эффективности, ограничений применимости	Общие, но не структурированные знания методов разработки стратегий исследования в выбранной области физики, критериев эффективности, ограничений применимости	Сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания основных методов разработки стратегий исследования в выбранной области физики, критериев эффективности, ограничений применимости	Сформированные систематические знания методов разработки стратегий исследования в выбранной области физики, критериев эффективности, ограничений применимости
<p>УМЕТЬ:</p> <p>анализировать альтернативные варианты стратегий и целей исследований в выбранной области физики, критерии их эффективности и ограничения применимости</p>	Отсутствие умений	Частично освоенное умение анализировать альтернативные варианты стратегий и целей исследований в выбранной области физики, критерии их эффективности и ограничения применимости	В целом успешно, но не систематически осуществляемые анализ альтернативных вариантов стратегий и целей исследований в выбранной области физики, критериев их эффективности и ограничения применимости	В целом успешный, но содержащий отдельные пробелы анализ альтернативных вариантов стратегий и целей исследований в выбранной области физики, критериев их эффективности и ограничения применимости	Сформированное умение анализировать альтернативные варианты стратегий и целей исследований в выбранной области физики, критерии их эффективности и ограничения применимости

Шифр: У (ПК-2) -1					
<p>ВЛАДЕТЬ:</p> <p>навыками исследований с помощью современной аппаратуры и информационных технологий</p> <p>Шифр: В (ПК-2) -1</p>	Отсутствие навыков	Фрагментарное применение навыков исследований с помощью современной аппаратуры и информационных технологий	В целом успешное, но не систематическое применение навыков исследований с помощью современной аппаратуры и информационных технологий	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение навыков исследований с помощью современной аппаратуры и информационных технологий	Успешное и систематическое применение навыков исследований с помощью современной аппаратуры и информационных технологий

3. Паспорт фонда оценочных средств

№	Контролируемые разделы дисциплины	Код контролируемой компетенции	Наименование оценочного средства
1	Оптические константы твердого тела Процессы поглощения в полупроводниках Излучательная рекомбинация в полупроводниках Безызлучательные переходы в полупроводниках Фотоэлектрические явления	З (ПК-1)-I З (ПК-2)-I	- Устный опрос - Зачет
2	Оптические константы твердого тела Процессы поглощения в полупроводниках Излучательная рекомбинация в полупроводниках Безызлучательные переходы в полупроводниках Фотоэлектрические явления	У (ПК-1)-I У (ПК-2)-I	- Решение самостоятельных и домашних заданий - Устный опрос - Зачет
3	Оптические константы твердого тела Процессы поглощения в полупроводниках Излучательная рекомбинация в полупроводниках Безызлучательные переходы в полупроводниках Фотоэлектрические явления	В(ПК-1)-I В(ПК-2)-I	- Устный опрос - Зачет

4. Оценочные средства

4.1. Контрольные вопросы

1. Что связывают соотношения Крамерса-Кронига?
2. Что называется линейным коэффициентом поглощения? Что такое закон Бугера-Ламберта?
3. Что такое коэффициент пропускания? Какова простейшая формула, связывающая коэффициент пропускания и линейный коэффициент поглощения?
4. Что такое метод призмы для измерения показателя преломления?
5. В чем сущность классического и квантовомеханического подходов в теории дисперсии оптических констант?
6. Какие виды процессов поглощения в полупроводниках существуют?
7. Что такое собственное поглощение?
8. Чем отличается собственное поглощение в прямозонном и непрямозонном полупроводниках?
9. Какие виды переходов наблюдаются при примесном поглощении?
10. Что такое неселективное поглощение свободными носителями заряда?
11. Куда тратится энергия электромагнитной волны при решеточном поглощении?
12. Что такое полоса остаточных лучей?
13. Что такое люминесценция?
14. В какой форме может подводиться энергия для создания неравновесного возбужденного состояния кристалла?
15. Что представляет собой соотношение Ван Русбрека-Шокли?
16. Почему спектр излучения более узкий, чем спектр поглощения?
17. Что такое самопоглощение?
18. От чего зависит эффективность излучения?

19. Каковы особенности спектра излучения при донорно-акцепторных переходах?
20. Что такое Оже-рекомбинация?
21. Какие переходы рассматриваются при рекомбинации через простые локальные центры?
22. Как запишется условие сохранения нейтральности при малой концентрации ловушек?
23. Как выглядит зависимость времени жизни от положения уровня Ферми для случая малой концентрации ловушек?
24. Как выглядит зависимость времени жизни от температуры для случая малой концентрации ловушек?
25. Что такое внутренний фотоэффект?
26. Что такое удельная фоточувствительность?
27. Как выглядит релаксация фотопроводимости при малом уровне возбуждения?
28. Что представляет собой эффект Дембера?
29. Что такое внешний фотоэффект?
30. В чем основное отличие поперечной э.д.с. в фотоэлектромагнитном эффекте и э.д.с. Холла?

5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков

5.1. Текущие аттестации

Текущая аттестация включает

- оценку выполнения самостоятельных и домашних заданий
- устные опросы по разделам курса.

Контрольные вопросы к промежуточной аттестации приведены в п. 4.1. Оценка при текущей аттестации формируется на основании критериев оценивания из соответствующих карт компетенций в соответствии с таблицей 5.1.

Таблица 5.1

Оценка	Критерий оценивания из карты компетенций					
	З(ПК-1)-I	У(ПК-1)-I	В(ПК-1)-I	З(ПК-2)-I	У(ПК-2)-I	В(ПК-2)-I
Аттестован	4÷5	3÷5	3÷5	3÷5	3÷5	3÷5
Не аттестован	Все остальные варианты					

5.2. Промежуточная аттестация

Промежуточная аттестация проводится в виде устного дифференцированного зачета. К зачету допускаются студенты, успешно прошедшие все текущие аттестации. Контрольные вопросы к зачету приведены в п. 4.1. Оценка результатов зачета формируется в соответствии с таблицей 5.2:

Таблица 5.2

Оценка	Результат, продемонстрированный студентом на зачете
Отлично	Студент, твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, способен самостоятельно принимать и обосновывать решения, оценивать их эффективность.
Хорошо	Студент твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает не критичные неточности в ответе
Удовлетворительно	Студент, показывает фрагментарный, разрозненный характер знаний, недостаточно точно формулирует базовые понятия.
Неудовлетворительно	Студенту не знает большей части основного содержания дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных понятий дисциплины.